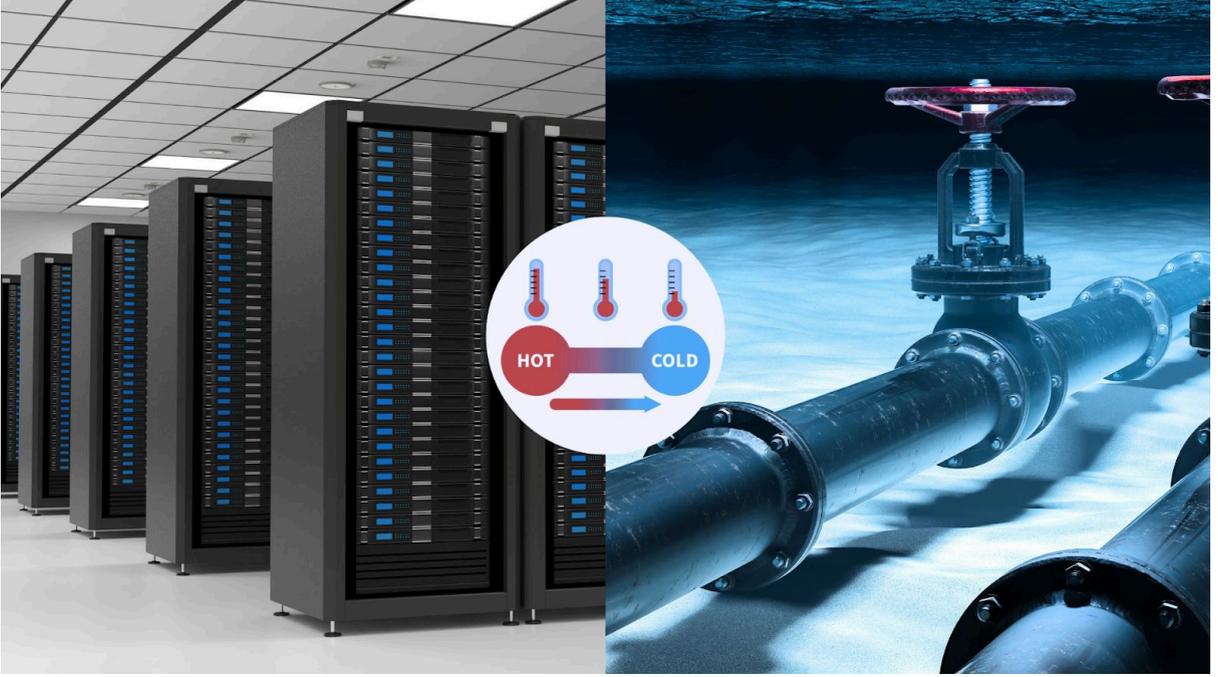


डेटा सेंटरच्या उष्णतेला समुद्राची थंडाई: आयआयटी मुंबईच्या संशोधकांनी दाखवली दिशा

‘डीप सीवॉटर कूलिंग’ प्रणाली वापरल्याने डेटा सेंटर्सची ७९% ऊर्जा बचत होते आणि नको असलेले उत्सर्जन कमी होऊन आठ महिन्यात परतावा मिळतो, असे नवीन अभ्यास सुचवतो.



आजच्या वेगवान डिजिटल युगात, आपल्या रोजच्या गरजांसाठी आपण इंटरनेटवर प्रचंड प्रमाणात अवलंबून आहोत. ओटीटी प्लॅटफॉर्मवर चित्रपट पाहण्यापासून ते ऑनलाइन खरेदी करण्यापर्यंत, प्रत्येक क्लिक आणि प्रत्येक व्यवहार एका अदृश्य पण शक्तिशाली इंटरनेटच्या पायाभूत सुविधेवर चालतो. या पायाभूत सुविधांचा केंद्रबिंदू म्हणजे ‘डेटा सेंटर्स’. या प्रचंड इमारतींमध्ये हजारो संगणक आणि सर्व्हर्स २४ तास सुरू असतात, जे आपली सर्व ऑनलाइन माहिती साठवतात आणि प्रक्रिया करतात. सर्व्हर्स सतत काम करत असल्यामुळे खूप उष्णता निर्माण होते. डेटा सेंटर थंड ठेवण्यासाठी जी शीतन प्रणाली वापरली जाते त्यासाठी लागणारी ऊर्जा इतकी प्रचंड असते की, इंटरनेशनल एनर्जी एजन्सीच्या अहवालानुसार, २०२२ मध्ये जगातील एकूण वीज वापरापैकी सुमारे १ ते १.१३ टक्के वीज निव्वळ डेटा सेंटर्सना लागली. बऱ्याचदा यातील ४०% ऊर्जा केवळ शीतन प्रक्रियेसाठी लागते. हा आकडा, विशेषतः कृत्रिम बुद्धिमत्तेच्या (AI) वाढत्या वापरामुळे, येत्या काही वर्षांत मोठ्या प्रमाणात वाढण्याची शक्यता आहे. आपल्या पर्यावरणाचे तापमान आणि आपला डिजिटल वापर वाढत असताना, ऊर्जा बचत करणारे पर्यावरणपूरक शीतन उपाय शोधणे ही काळाची गरज बनली आहे.

मुंबईच्या भारतीय तंत्रज्ञान संस्थेतील (आयआयटी मुंबई) संशोधकांनी प्रा. गुरुबालन अण्णादुराई यांच्या मार्गदर्शनाखाली एक नवा अभ्यास केला आहे. प्रचंड ऊर्जेची गरज असणाऱ्या पारंपरिक शीतन पद्धतींना शह देऊ शकणारी, समुद्रातील थंड पाणी वापरणारी ‘खोल सागरजल शीतन’, म्हणजेच ‘डीप सीवॉटर कूलिंग’ (DSWC) पद्धत कशी आणि कुठे वापरता येईल हे जोखण्यासाठी त्यांनी एक पद्धत प्रस्तुत केली आहे. या अभ्यासाचे प्रमुख लेखक व आयआयटी मुंबई येथे पोस्ट डॉक्टरल फेलो असलेले डॉ. कशिश कुमार, खोल सागरजल शीतन प्रणालींबद्दल माहिती देताना म्हणाले, “आम्ही डीप सीवॉटर कूलिंग तंत्रज्ञानाचा वापर करून डेटा सेंटर्सना थंड ठेवण्यासाठी अभ्यास केला आहे. या प्रणालीमध्ये,

समुद्राच्या खोल थरांमध्ये असलेले थंड पाणी मोठ्या जलवाहिन्यांमधून (पाईपलाईन) जमिनीवर आणून त्याचा वापर तिथल्या प्रणाली थंड ठेवण्यासाठी केला जातो.” आयआयटी मुंबईच्या नवीन पद्धतीच्या आधारे खोल सागरजल शीतन प्रणाली वापरायला लागणारी संसाधने आणि त्या साठीची गुंतवणूक वसूल होण्यास लागणारा अवधी (पेबॅक पिरियड) याचे नेमके गणित मांडता येते.

समुद्राच्या खोल थरांमधील थंड पाणी आपल्या शीतनाच्या गरजांवर एक तोडगा देऊ शकले, तरी तापमान आणि पाण्याचा प्रवाह योग्य राखत मोठ्या प्रमाणात पाणी लांब अंतरावर वाहून नेण्याकरिता लागणाऱ्या सुविधा बसवणे आणि चालवणे दोन्ही खर्चिक असते. खोल सागरजल शीतन वापरण्यातील आव्हानांबद्दल स्पष्टीकरण देताना डॉ. कुमार म्हणाले, “जेव्हा थंड पाणी समुद्राच्या वरच्या भागातील उष्ण थरांमधून वाहत जाते, तेव्हा ते उष्णता शोषून घेऊ शकते आणि शीतनासाठी ते तितकेसे प्रभावी न राहण्याची शक्यता असते. तसेच, जलवाहिनीच्या प्रत्येक भागाला समुद्रातील क्षार, जास्त दाब आणि जैविक क्रिया (बायोफाउलिंग) यांसारख्या प्रतिकूल सागरी परिस्थितींना तोंड द्यावे लागते.”

खोल सागरजल शीतन प्रणालीची व्यवहार्यता तपासण्यासाठी, संशोधकांनी अकरा टप्प्यांची एक पद्धत विकसित केली. प्रथम, त्यांनी एका डेटा सेंटरवर असलेला साधारण शीतन भार (१०० मेगावॉट) आणि डेटा सेंटर सुरू असताना सामान्यतः त्याच्याशी निगडित तापमानांची (म्हणजे सर्व्हर रूमचे तापमान २६-२७°C आणि पुरवठा हवेचे तापमान २२°C) नोंद करून एक आधाररेखा तयार केली. त्यानंतर, त्यांनी वातावरणातील तापमानाच्या महिन्याभरात होणाऱ्या फरकाचा विचार करून, पारंपरिक चिलर-आधारित शीतन प्रणालीच्या ऊर्जेच्या वापराचे अनुमान काढले. चिलर-आधारित शीतन प्रणाली उष्णता बाहेर काढण्यासाठी सभोवतालच्या हवेवर अवलंबून असते.

खोल सागरजल शीतन प्रणाली पारंपरिक शीतन पद्धतीची जागा घेऊ शकते का?

खोल सागरजल शीतन प्रणाली व्यवहार्य होण्यासाठी, ती पारंपरिक शीतन प्रणाली इतकीच किंबहुना त्याहून अधिक प्रभावी असणे आवश्यक आहे. शिवाय ती चालवण्यासाठी खर्च कमी असणे गरजेचे आहे. संशोधकांच्या गटाने या पद्धतीची तुलना करण्यासाठी खोल सागरजल शीतन प्रणालीच्या तपशीलांचे विश्लेषण केले. त्यांनी शीतनाची मागणी पूर्ण करण्यासाठी आवश्यक असलेले समुद्राच्या पाण्याचे तापमान (१८°C) आणि पाण्याचा आवश्यक प्रवाह दर (५९७२.३ किलो प्रति सेकंद) निश्चित केले. प्रोटोटाइपसाठी संशोधकांनी अंदाजित आणि निकोबार द्वीपसमूहाचा भाग असलेली सिस्टर आयलंड्स निवडली, कारण ती बेटे हवामान आणि समुद्रशास्त्रीय दृष्टीने प्रयोगासाठी अनुकूल आहेत.

“विषुववृत्तीय सागरी प्रदेशात, विशेषतः विषुववृत्ताजवळ आणि कमी अक्षांशावर असलेल्या अंदाजित आणि निकोबार बेटांसारख्या ठिकाणी, समुद्रातील, खास करून १०० मीटरपेक्षा जास्त खोल पाण्याच्या तापमानात ऋतूंप्रमाणे अगदी कमी बदल होतात. खोल समुद्रात पाण्याचे तापमान सातत्याने स्थिर असल्यामुळे डीप सीवॉटर कूलिंग प्रणालीचे शीतन कार्य वर्षभर खात्रीशीरपणे होऊ शकते. त्या प्रणालीमध्ये ऋतूनुसार बदल करण्याची आवश्यकता भासत नाही,” असे डॉ. कुमार यांनी सांगितले.

‘थर्मोक्लाइन प्रोफाईल’ म्हणजे समुद्राच्या खोलीनुसार पाण्याच्या तापमानात होणारे बदल दर्शवणारा आलेख. संशोधकांनी सिस्टर आयलंड्स साठी, वर्ल्ड ओशन अँटलसचा डेटा वापरून थर्मोक्लाइन प्रोफाईल तयार केले, ज्याच्या आधारे त्यांना थंड पाण्याच्या स्थानाचे अचूक चित्र मिळाले व आवश्यक तेवढे थंड पाणी जिथे मिळू शकेल अशी २७७० मीटरची नेमकी खोली त्यांना शोधता आली. त्या भागातील पाण्याचे तापमान खोलीनुसार कसे बदलते हेही त्यांना समजले.

यानंतर संशोधकांनी ‘जनरल बाथिमेट्रिक चार्ट ऑफ द ओशनस’ (GEBCO) या डेटाचा उपयोग करून, किनारपट्टीपासून या खोलीपर्यंत (२७७० मीटर) आडव्या दिशेने सर्वात कमी अंतर शोधून काढले. या

माहितीच्या आधारे त्यांनी समुद्राच्या तळाशी असलेल्या भूभागाची रूपरेखा विचारात घेत प्रत्यक्ष जलवाहिनीची आवश्यक लांबी २७८४ मीटर असावी असा अंदाज वर्तवला.

जलवाहिनी तयार करण्यासाठी हाय-डेन्सिटी पॉलीएथिलीन (HDPE) पदार्थ निवडण्यात आला, कारण तो लवचिक आणि वजनाने हलका असून गंज आणि अतिनील किरणांना (UV रेडिएशन) प्रतिरोध करतो. वाहिनीचा इष्टतम व्यास दोन महत्त्वाच्या प्रवाह वेगासंबंधित घटकांचा समतोल साधून निश्चित करण्यात आला: इरोजन (झीज) व्हेलॉसिटी आणि डेपोझिशन (निक्षेपण) व्हेलॉसिटी. डॉ. कुमार यांनी स्पष्ट केले, “इरोजन व्हेलॉसिटी म्हणजे समुद्राच्या पाण्याचा पाईपमधील जास्तीत जास्त प्रवाह वेग, ज्याच्या पलीकडे पाईपच्या आतील भिंतींना घर्षण किंवा समुद्री पाण्यातील कणांमुळे नुकसान होण्याचा धोका असतो. डेपोझिशन व्हेलॉसिटी म्हणजे गाळ किंवा क्षारांचे स्फटिक यांचे पाईपमध्ये साचणे टाळण्यासाठी आवश्यक असलेला किमान प्रवाह वेग.”

या विश्लेषणाच्या आधारे जलवाहिनीचा (पाईपचा) इष्टतम व्यास १.२८६ मीटर ते २.०६ मीटर या मध्ये असावा असे दिसून आले आणि या पल्ल्यात १.४५ मीटर सर्वात किफायती असल्याचे स्पष्ट झाले. खोल समुद्रात पाण्याच्या बाह्य दाबाला न वाकता तोंड देण्यासाठी वाहिनीची जाडी देखील निश्चित करण्यात आली.

खोल समुद्रातून थंड पाणी डेटा सेंटरकडे प्रवाहित होताना त्या पाण्याने कमीत कमी उष्णता शोषून घ्यावी यासाठी संशोधकांनी ‘सेगमेंटेड इन्सुलेशन’ (विभाजित उष्मारोधन) हे धोरण अवलंबले. यामध्ये जलवाहिनीचे वेगवेगळ्या खंडांमध्ये विभाजन केले गेले आणि प्रत्येक खंडासाठी उष्मारोधक थराची जाडी त्याच्या सभोवतालच्या विशिष्ट तापमानानुसार निश्चित केली गेली. डॉ. कुमार यांच्या मते, “(वाहिनीच्या) प्रत्येक खंडाला त्याच्या सभोवतालच्या विशिष्ट तापमानाला अनुरूप खास इन्सुलेशन मिळते. या दृष्टिकोनामुळे इन्सुलेशनचा कार्यक्षम वापर सुनिश्चित होतो, पाण्यात शोषली जाणारी उष्णता कमी होते आणि खर्च देखील कमी होतो.”

एकदा हे घटक निश्चित झाल्यावर, संशोधकांनी पाण्याच्या पंपाला लागणाऱ्या ऊर्जेचे अनुमान काढले. हे अनुमान खोल सागरजल शीतन प्रणाली चालवण्यासाठी लागणारी ऊर्जा दर्शवते आणि तो एक महत्त्वाचा खर्च आहे. ही माहिती मिळाल्यावर त्यांना खोल सागरजल शीतन आणि पारंपरिक प्रणालींमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या ऊर्जेची तुलना करता आली.

कार्यक्षम आणि पर्यावरणपूरक शीतन

संशोधकांच्या निष्कर्षानुसार, अंदाजाने आणि निकोबार बेटांसारख्या उष्णकटिबंधीय प्रदेशातील १०० मेगावॉट कूलिंगची गरज असलेल्या डेटा सेंटरवर खोल सागरजल शीतन प्रणाली लागू केल्यास विजेची ७९% पर्यंत वार्षिक बचत होऊ शकते. शिवाय, ही पद्धत पर्यावरणाच्या दृष्टीने खूप फायदेशीर आहे कारण यात कार्बन डायऑक्साइडच्या उत्सर्जनात देखील ७९% पेक्षा जास्त वार्षिक घट होते.

आणखी एक महत्त्वाची बाब म्हणजे, या पद्धतीचा परताव्याचा कालावधी लक्षणीयरित्या कमी आहे. १०० मेगावॉट कूलिंगची गरज, प्रति kWh \$०.०८५१ सरासरी वीज दर आणि प्रति वर्ष ८७६० तास चालण्याचा कालावधी गृहीत धरल्यास, परतावा फक्त आठ महिन्यांत मिळेल. यात वार्षिक भांडवली खर्चाच्या २५% देखभाल खर्च आणि ६.७५% सूट दर धरला आहे आणि सर्वात जास्त गुंतवणूक जलवाहिनी, इन्सुलेशन, हीट एक्सचेंजर आणि एअर डक्टिंगमध्ये आहे.

खोल सागरजल शीतन पद्धतीच्या काही मर्यादा आहेत याची संशोधकांना जाणीव आहे. सदर अभ्यास काही अशा गृहीतकांवर आधारित आहे ज्यामुळे सोपी-सरळ कार्यकारी परिस्थिती गृहीत धरली जाते, पण प्रत्यक्ष स्थिती तेवढी सरळ नसते. उदाहरणार्थ हवेच्या पुरवठ्याचे तापमान स्थिर आणि हीट एक्सचेंजरचे कार्य मानक मार्गदर्शक तत्वांप्रमाणे मानले जाते, जे खरे तर वास्तविक परिस्थितीत बदलू शकते. ही प्रणाली खोल समुद्राच्या थंड पाण्याची सहज उपलब्धता असलेल्या किनारी प्रदेशांमध्ये आर्थिक आणि कार्यकारी दृष्ट्या अधिक चांगली कामगिरी बजावते. थंड पाण्याच्या ठिकाणापासून जसे अंतर जास्त तसे खोल सागरजल शीतन प्रणाली बसवण्याचा आणि चालवण्याचा खर्च वाढू शकतो. भविष्यातील संशोधनात भौगोलिक ठिकाणांच्या थर्मोक्लाइन पातळ्यांची आणि समुद्राच्या तळाच्या रुपरेखेची आणखी अचूक माहिती, हाय-डेन्सिटी पॉलीएथिलीन जलवाहिनीच्या इरोजन व्हेलॉसिटीचे सखोल आकलन आणि प्रणालीमधील घटकांच्या दीर्घकालीन हानीचा अभ्यास उपयुक्त ठरू शकतो.

तरीही, विकसित केलेल्या या पद्धतीमुळे गुंतवणूकदारांना पारंपरिक शीतन प्रणाली सोडून खोल सागरजल शीतन प्रणालीकडे वळण्याची आर्थिक आणि तांत्रिक व्यवहार्यता काळजीपूर्वक तपासता येते. जरी हा अभ्यास डेटा सेंटरच्या शीतनावर केंद्रित असला तरी ही मानकीकृत पद्धत विविध क्षेत्रांसाठी वापरली जाऊ शकते, विशेषतः अशा ठिकाणी जिथे मोठ्या प्रमाणात आणि सतत शीतन किंवा उष्मनाची आवश्यकता असते. डॉ. कुमार यांच्या मते, या पद्धतीचा फायदा होऊ शकणारी काही संभाव्य स्थाने “रुग्णालये असू शकतात, ज्यांना २४x७ बंद न पडता शीतनाची आवश्यकता असते, किंवा कटीबंधीय किनारी शहरांमधील निवासी/व्यावसायिक इमारती असू शकतात, किंवा औद्योगिक प्रक्रिया केंद्रे आणि एकीकृत पाणी शुद्धीकरण आणि शीतन प्रणाली असू शकतात.”

खोल समुद्राच्या नैसर्गिक थंड तापमानाचा वापर करून, खोल सागरजल शीतन प्रणाली विजेच्या नेटवर्कवरील ताण कमी करू शकते, व्यवसाय चालवण्याचा खर्च कमी करू शकते आणि हरितगृह वायूंचे उत्सर्जन कमी करण्यामध्ये महत्त्वपूर्ण योगदान देऊ शकते. खोल सागरजल शीतन प्रणालीच्या अंमलबजावणीसाठी एक स्पष्ट, पद्धतशीर कार्यपद्धती प्रस्तुत करून हा अभ्यास ऊर्जा-कार्यक्षम आणि आर्थिकदृष्ट्या व्यवहार्य शीतन उपायांच्या व्यापक स्वीकृतीसाठी मार्ग मोकळा करतो. शिवाय, यामुळे जगाचे डिजिटल भविष्य अधिक शाश्वत (सस्टेनेबल) करण्यासाठी हा अभ्यास महत्त्वाचा ठरतो.

“विकसनशील देशांना, विशेषतः बेट राष्ट्रे आणि किनारी प्रदेशांना, याचा मोठा फायदा होऊ शकतो. मात्र या पद्धतीचा विस्तार वाढवण्यासाठी आंतरराष्ट्रीय सहकार्य, तंत्रज्ञान हस्तांतरण आणि लक्षित धोरणात्मक समर्थन (उदा. हरित वित्त किंवा पायाभूत सुविधांसाठी अर्थसहाय्य) आवश्यक आहे,” असे शेवटी डॉ. कुमार म्हणाले.

VETTED / UNVETTED	Vetted
Title of Research Paper	Methodology to analyze the feasibility of deep seawater cooling systems
DOI of the Research Paper as a link	https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.123567
List of all researchers with affiliations	Kashish Kumar, Moin Ali Syed, Gurubalan Annadurai Department of Energy Science and Engineering, Indian Institute of Technology Bombay

VETTED / UNVETTED	Vetted
Email of researcher/s	kashish.k@iitb.ac.in , kash251191@gmail.com guru.a@iitb.ac.in
Writer name	Dennis Joy
Transcreator name	Shilpa Inamdar-Joshi
Credits to Graphic:	Gubbi Labs
Subject [FOR EDITOR] - Please Highlight in RED (Multiple allowed)	Science/ Technology/Engineering /Ecology/Health/Society
Article to be Sectioned Under [FOR EDITOR] - Please Highlight in RED	Deep Dive /Friday Features/Fiction Friday/Joy of Science/News+Views/News/Scitoons/Catching up/OpEd/Featured/Sci-Qs/Infographics/Events
Social Media TAGS separated by Comma	
Social Media Posts Suggestions/ Links to interesting relevant content [optional] [writer]	<ol style="list-style-type: none"> 1. A new methodology from IIT Bombay researchers reveals deep seawater cooling systems can save 79% energy and cut emissions for data centres, with a rapid eight-month payback. Great support for digital growth! Read more at <link> 2. New IIT Bombay study on feasibility of deep seawater cooling systems paves the way for broader adoption of a cooling solution that is not only energy-efficient and economically viable but also crucial for building a more sustainable digital future. More about it at <link>
Social Media Handles to be added	@iitbombay
Social Media handles of writer	
Social Media handles of researchers	https://www.linkedin.com/in/drkashishkumarphdpost-doc-iitian/ https://www.linkedin.com/in/gurubalan-annadurai-8201b047/
Funding information (Source: Research paper)	IIT Bombay Post Doctoral Fellowship

VETTED / UNVETTED	Vetted
Conflict of Interest/Competing Interest information (Source: Research paper)	None
Co-PI information (Source: Research paper)	None
Location:	Mumbai